Aus dem Max-Planck-Institut für Biophysik Frankfurt am Main
Direktor: Dr. Dr. B. Rajewsky

Über die durch Röntgenstrahlen in Wasser ausgelöste Lumineszenz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät an der
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

D 30

Vorgelegt von Erich Six aus Frankfurt am Main
1954

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Es wurde die Erzeugung einer Lumineszenz-Strahlung durch Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Wasser untersucht. Die Beobachtung eines derartigen Effektes eröffnet einen experimentellen Zugang zu den physikalischen Primärprozessen, die unmittelbar bei der Absorption ionisierender Strahlen im Wasser ablaufen und die für die Deutung der biologischen Strahlenwirkungen von besonderer Bedeutung sind. Bisher beschränkten sich die Kenntnisse über die bei der Strahleneinwirkung auf Wasser ablaufenden Prozesse auf die nachträgliche Bestimmung chemischer Reaktionen in wässrigen Lösungen.

Die wenigen bisher bekannt gewordenen sicheren Beobachtungen einer Lumineszenz des Wassers bei Einwirkung ionisierender Strahlen beziehen sich ausnahmslos auf ß- und γ-Strahlen, bei denen in Folge der sehr hohen Geschwindigkeit der ionisierenden Teilchen ein Cerenkov-Leuchten der geladenen Teilchen selbst auftreten muß, das nicht als eigentliche Wasser-Lumineszenz anzusehen ist. Die Nichtbeachtung dieser Tatsache kann leicht zu Fehlschlüssen bei der Deutung experimenteller Befunde führen.

Als Strahlenquelle diente bei den Untersuchungen eine Hochleistungs-Röntgenröhre. Da die Spitzenspannung für die Röhre nur etwa 50 kV betrug, konnte kein Cerenkov-Leuchten auftreten. Zum Lichtnachweis wurde ein Photo-Sekundärelektronen-Vervielfacher benutzt, der für Licht zwischen 200 und 700 mμ Wellenlänge empfindlich war. Das Wasser wurde durch sechsmalige Destillation gereinigt. Zur Eichung der Meßanordnung wurde das Wasser im Bestrahlungsgefäß gegen eine Fluorescein-Lösung ausgetauscht. In dieser Lösung wurde durch eine bolometrisch gemessene monochromatische UV-Strahlung eine Fluoreszenz-Strahlung bekannter Stärke und Spektral-Verteilung erregt. Auf diese Weise ließ sich ein Umrechnungsfaktor zwischen dem gemessenen Strom und der Zahl der pro Zeiteinheit und Volumeneinheit in der Flüssigkeit im Bestrahlungsgefäß emittierten Quanten ermitteln.

Soweit relative Meßwerte genügten, ließ sich zur Messung die 100 Hz-Modulation der Lumineszenz ausnutzen, die auf dem Fehlen einer Glättung der Betriebsspannung der Röntgenröhre beruhte. Diese Meßmethode gestattete gegenüber den Galvanometer-Messungen eine erhebliche Steigerung der nutzbaren Empfindlichkeit. Die Einschaltung optischer Filter in den Lichtstrahlengang erlaubte eine angenäherte Bestimmung des spektralen Verlaufs der Lumineszenz. Die mathematische Auswertung der Filtermessungen geschah durch ein Verfahren der successiven Approximation.

Es gelang der Nachweis einer sehr schwachen Lumineszenz des Wassers, deren Stärke der Dosisleistung der Röntgenstrahlen im Wasser proportional war. Es wurde etwa 1 Millionstel der vom Wasser aufgenommenen Röntgenstrahlenenergie mit der beobachteten Lumineszenz wieder ausgestrahlt. Dies bedeutet eine auf 32,5 iV bezogene Ionenausbeute des Leuchtens von etwa 1.10^{-5} Quanten/Ionenpaar. Das Maximum der Spektralverteilung des Leuchtens lag bei 350 - 360 $m\mu$.

Eisproben zeigten bei Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt ein etwa 2fach stärkeres Leuchten. Für Benzol und Luft ergaben vorläufige Messungen eine weit größere Ausbeute für die Lumineszenz-Erregung. Jedoch war auch für diese Stoffe der Wert für die Ionenausbeute sehr viel kleiner als 1. Verschiedene lösliche Zusätze im Wasser beeinflußten nur in relativ großer Konzentration das Leuchten. Auch ein Abpumpen der im Wasser gelösten Luft veränderte die Stärke des Leuchtens nicht merklich.

Hieraus wird geschlossen, daß die beobachtete Wasser-Lumineszenz auf im Wasser selbst ablaufende Prozesse zurückzuführen ist. Diese stehen wahrscheinlich mit der H- und OH-Radikalbildung in Beziehung. Möglicherweise handelt es sich um die Strahlung angeregter Radikale oder um eine Art Chemilumineszenz. Vielleicht kommt auch der quasikristallinen Struktur des Wassers eine Bedeutung bei den Lumineszenzprozessen zu.

Lebenslauf.

Am 22.9.1926 wurde ich, Erich Walther S i x , als Sohn des Studienrates Dr. Walter Six und dessen Ehefrau Wilhelmine geb. Dick, in Frankfurt a.M. geboren.

Nach vierjähriger Grundschulzeit besuchte ich von 1936 bis 1943 die Goethe-Schule in Frankfurt a.M. und erhielt am 15.5.1944 als Luftwaffenhelfer mein Abgangszeugnis. Anschließend wurde ich zum Wehrdienst einberufen. Nach dem Krieg bestand ich am 11.5.1946 das Abiturienten-Examen nach Teilnahme am Reifeprüfungslehrgang der Städt. Oberschule in Königstein/Ts.

Im Sommersemester 1946 begann ich an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt a.M. das Studium der Physik und bestand am 5.10.1949 das Diplom-Examen. Die Diplom-Arbeit über "Die Treffer-Theorie der indirekten Wirkung" hatte ich unter Leitung von Herrn Professor Dr. B. Rajewsky am Max-Planck-Institut für Biophysik in Frankfurt a.M. angefertigt. Danach begann ich am gleichen Institut mit der vorliegenden Doktorarbeit.

Referenten der Arbeit: Prof. Dr. Dr. B. Rajewsky
Prof. Dr. H. Hartmann

Tag der mündlichen Prüfung: 21. 6. 1954

54/188 X 1